早期断奶羔羊饲喂不同中性洗涤纤维水平饲粮对羔羊育肥期生长性能、血清学指标和屠宰性能的影响[1]

解　彪[1,2]　张乃锋[2]　崔　凯[2]　王世琴[2]　吕小康[2]　张春香[1*]　刁其玉[2*]

（1.山西农业大学动物科技学院，太谷 030801；2.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放试验室，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究早期断奶羔羊饲喂不同中性洗涤纤维水平饲粮对羔羊育肥期生长性能、血清学指标和屠宰性能的影响。选用 100 只体况良好、体重（6.10±0.10） kg、（18±2）日龄的湖羊公羔，随机分为 4 组，每组 5 个重复，每个重复 5 只羔羊。试验配制 NDF 水平分别为 10%（10N 组，作为对照组）、15%(15N 组)、20%(20N 组)、25%(25N 组)的 4 种饲粮。在 21～90 日龄阶段，各组羔羊饲喂不同 NDF 水平的饲粮；在 91～150 日龄，所有羔羊饲喂同一全混合日粮（TMR），饲粮 NDF 水平为 30%。150 日龄时，每组挑选与平均体重相近的 6 只羔羊，测定血清学指标、屠宰性能和组织器官发育指标。结果表明：1）在 90 日龄时，15N 组、20N 组和 25N 组体重均显著高于 10N 组（P<0.05）；在 120 日龄时，20N 组和 25N 组体重均显著高于 10N 组（P<0.05）；在 150 日龄时，20N 组和 25N 组体重较 10N 组有增加的趋势（P=0.079）。91～120 日龄阶段，20N 组和 25N 组羔羊平均日增重显著高于 10N 组与 15N 组（P<0.05），20N 组羔羊平均干物质采食量显著高于 10N 组（P<0.05）；然而，在 121～150 日龄阶段，20N 组和 25N 组羔羊平均日增重显著低于 10N 与 15N 组（P<0.05）。在 90～150 日龄阶段，羔羊平均日增重、平均干物质采食量及料重比各组间无显著差异（P>0.05）。2）20N 组血清总蛋白含量显著高于 10N 组（P<0.05），20N 组和 25N 组血清白蛋白含量显著高于 10N 组（P<0.05），25N 组血清β-羟丁酸含量显著高于 10N 组和 15N 组（P<0.05）。3）20N 组和 25N 组羔羊胴体重较 10N 组有增加趋势（P=0.061）。4）10N 组头占宰前活重的比例显著高于 20N 组（P<0.05），其余指标各组间差异不显著（P＞0.05）。综合得出，早期断奶羔羊饲喂 NDF 水平不低于 15%的饲粮能够提高育肥期羔羊的生长性能。

关键词：中性洗涤纤维；早期断奶羔羊；生长性能；屠宰性能；代谢印记

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

代谢印记是指早期营养调控能够改变后期的生理表现的一种表观遗传学反应[1]。当前，

收稿日期：2017-11-09

基金项目：公益性行业（农业）科研专项经费（201303143，201403049）

作者简介：解　彪（1991-），男，山西清徐人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: xiebiao1122@163.com

*通信作者：张春香，教授，硕士生导师，E-mail: zhchx66@126.com；刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail: diaoqiyu@caas.cn

对婴儿新生阶段的营养干预能通过程序化改变敏感组织和细胞的表观性状并影响到长期的产出已经得到共识[2-3]。有关研究表明，早期婴儿肠道内定植的微生物能够对后期生理、代谢及免疫产生影响[4]。在动物营养研究中，幼龄反刍动物早期饲喂策略[5]、营养水平[6-7]、饲粮结构[8]与后期生产性能有密切的相关关系，早期营养或代谢程序化对其后续生长和健康具有终生影响[9]。进一步了解和掌握早期营养调控对羔羊后期育肥的长期效应，对于制订和完善羔羊的科学培育和育肥策略具有重要意义。早期断奶技术不仅显著缩短了羔羊哺乳期和母羊繁殖间隔，而且促进了羔羊的生长发育[10-12]。早期断奶羔羊饲喂苜蓿可提高断奶前后生长性能及断奶后瘤胃发育和胴体重[13]。饲粮中性洗涤纤维（NDF）水平、来源等对羔羊生长发育的调控效果已有研究[14-16]。本团队前期研究表明，饲粮 NDF 水平不低于 20%时，能够提高早期断奶羔羊的生长性能、屠宰性能以及心脏、肝脏等器官的重量[17]。然而，饲粮 NDF 水平调控早期断奶羔羊生长发育的长期效应目前仍不清楚。因此，本试验在羔羊哺乳期饲喂不同 NDF 水平饲粮，研究其对羔羊育肥期生长性能、血清学指标和屠宰性能的影响，以期探究早期饲粮 NDF 营养调控羔羊生长的长期效应，为羔羊育肥策略提供新思路及理论依据。

1　材料与方法

1.1 试验时间与地点

本试验于 2016 年 11 月至 2017 年 4 月在江苏海伦羊业有限公司进行。

1.2 试验设计

本试验采用单因素试验设计，选取体重接近[（6.10±0.10） kg]的（18±2）日龄湖羊公羔 100 只，随机分为 4 组，每组 5 个重复，每个重复 5 只。试验配制 4 种饲粮，对照组饲粮不添加粗饲料(NDF 水平为 10%，10N 组)，其余 3 组饲粮通过添加苜蓿使得 NDF 水平分别为 15%(15N 组)、20%(20N 组)、25%(25N 组)。试验预试期 3 d，21~90 日龄各组羔羊饲喂不同 NDF 水平的饲粮，90 日龄后所有羔羊统一饲喂 NDF 水平为 30%的全混合日粮（TMR）至 150 日龄，其中在换料时有 7 d 的过渡期。

1.3　试验饲粮

90 日龄前以苜蓿为主要 NDF 来源配制饲粮，4 种饲粮等能等氮。90 日龄后以羊草、苜蓿、大豆秸秆为 NDF 来源配制饲粮。羔羊代乳品和预混料均由北京精准动物研究中心提供，其他原料由试验羊场提供。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table1　Composition and nutrient levels of experimental diets（DM basis）%

项目 Items	中性洗涤纤维水平 NDF level/%				
	10	15	20	25	30
原料 Ingredients					
玉米 Corn	63.00	51.80	42.00	36.80	35.50
豆粕 Soybean meal	23.50	17.50	8.00		10.00
麸皮 Wheat bran	8.70	12.00	12.00	2.00	15.00
脂肪粉 Fat power		1.40	2.20	3.00	
玉米干酒糟及其可溶物 DDGS		6.00	12.00	18.00	
膨化大豆 Extruded soybean			4.70	8.90	
羊草 Chinese wildrye grass					14.00
大豆秸秆 Soybean straw					18.00
苜蓿 Alfalfa		6.80	15.00	27.50	5.00
石粉 Limestone	1.80	1.70	1.45	1.00	0.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.40	1.20	1.05	1.20	0.50
食盐 NaCl	0.60	0.60	0.60	0.60	0.50
预混料 Premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels					
代谢能 ME/（MJ/kg）2)	11.33	11.33	11.33	11.33	9.83
干物质 DM	86.86	87.05	85.17	85.61	94.75
粗蛋白质 CP	19.63	19.46	19.94	18.83	14.01
粗脂肪 EE	2.81	5.66	7.37	8.07	2.54
粗灰分 Ash	4.73	4.92	4.84	5.51	4.32
中性洗涤纤维 NDF	11.51	17.23	23.48	29.20	27.12
钙 Ca	1.67	1.67	1.67	1.53	0.72
总磷 TP	0.74	0.77	0.76	0.75	0.41

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet：VA 12 000 IU，VD 2 000 IU，VE 30 IU，Cu 12 mg，Fe 64 mg，Mn 56 mg，Zn 60 mg，I 1.2 mg，Se 0.4 mg，Co 0.4 mg。

2)营养水平除代谢能外均为实测值。Nutrient values were all measured values except ME.

1.4 饲养管理

所有试验羔羊均打耳号，免疫程序按羊场正规程序进行，每隔半个月对羊舍消毒 1 次（0.5%百毒杀、0.1%新洁尔灭）。羔羊于 18 日龄开始由随母哺乳逐渐过渡为饲喂代乳粉，同时饲喂颗粒料。在 21 日龄正式开始试验，代乳粉按体重的 1%饲喂至 60 日龄，具体饲喂参照祁敏丽等[18]试验中的方法进行，全期颗粒料自由采食，颗粒料和代乳粉每天饲喂 2 次(06:00 和 16:00)。羔羊 60 日龄后停喂液体饲料，完全饲喂颗粒料，至 90 日龄后，所有羔羊饲喂相同 TMR 至 150 日龄，其中换料时有 7 d 过渡期。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 试验饲粮常规营养成分测定

总能使用 Parr-6400 氧弹式量热仪测定；粗蛋白质含量使用 KDY-9830 全自动凯氏定氮仪测定；干物质、粗脂肪、NDF、酸性洗涤纤维（ADF）、钙、总磷含量/水平等指标参考《饲料分析及饲料质量检测技术》[19]测定。

1.5.2 生长性能

羔羊 90、120 和 150 日龄晨饲前记录体重，每天准确记录投料量，每 5 d 记录剩料量，计算各阶段的体重、平均干物质采食量、平均日增重和料重比。

1.5.3 血清学指标

在 150 日龄时每组随机挑选 6 只接近平均体重的羔羊进行颈静脉采血，1 040×g 离心 10 min，分离得到的血清-20 ℃保存，用于检测血清学指标。使用日立 7160 全自动生化仪测定血清中葡萄糖（GLU）、总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、球蛋白（GLB）、尿素氮（UN）、尿酸（UA）、肌酐（Cre）的含量并计算白球比（A/G），采用酶联免疫吸附试验法测定血清中胰岛素（INS）、β-羟丁酸（BHBA）、生长激素（GH）、胰岛素样生长因子-Ⅰ（IGF-Ⅰ）的含量。

1.5.4 屠宰性能和组织器官发育指标

在150日龄时每组选取健康、体重接近该组平均体重的羔羊6只，禁食、禁水16 h后，静脉放血致死。屠宰前称量屠宰羔羊体重即为宰前活重（live weight before slaughter，LWBS），解剖后称量胴体、头、蹄、皮毛、心脏、肝脏、脾脏、肺脏、肾脏重，计算屠宰率和组织器官发育指标。

1.6 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 进行初步整理，采用 SPSS 19.0 统计软件的 ANOVA 程序进行单因素方差分析，差异显著时用 Duncan 氏法进行多重比较，并采用线性和二次回归来分析

饲粮 NDF 水平的影响。以 P＜0.05 作为差异显著的判断标准，以 0.05≤P＜0.10 作为有变化趋势的判断标准。

2 结果与分析

2.1 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期生长性能的影响

2.1.1 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期体重的影响

由表 2 可知，随着饲粮 NDF 水平的提高，羔羊 90、120 和 150 日龄体重均线性增加（P=0.003、P<0.001、P=0.034）。在 90 日龄时，15N 组、20N 组和 25N 组羔羊体重均显著高于 10N 组（P<0.05）；在 120 日龄时，20N 组和 25N 组羔羊体重均显著高于 10N 组（P＜0.05），其余各组间差异不显著（P＞0.05）；在 150 日龄时，且以 25N 组体重最高，10N 组体重最低，15N 组、20N 组和 25N 组羔羊体重较 10N 组有升高的趋势（P=0.079）。

表 2 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期体重的影响

Table 2 Effects of feeding different NDF level diets for early weaned lambs on body weight of lambs at fattening stage kg

日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	P-值 P-value		
	10N	15N	20N	25N		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
90	18.17[b]	21.47[a]	22.64[a]	22.62[a]	0.55	0.010	0.003	0.112
120	25.35[b]	28.24[ab]	30.80[a]	31.23[a]	0.64	0.002	<0.001	0.290
150	32.23[B]	35.89[A]	35.72[A]	36.19[A]	0.63	0.079	0.034	0.197

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示有变化趋势(0.05≤P<0.10)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant different (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean variation trend (0.05≤P<0.10). The same as below.

2.1.2 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期平均日增重的影响

由表 3 可知，随着饲粮 NDF 水平的提高，羔羊 91~120 日龄阶段平均日增重线性增加（P=0.006），而 121~150 日龄阶段平均日增重则线性降低（P＜0.001）。在 91~120 日龄阶段，20N 组和 25N 组羔羊平均日增重显著高于 10N 组和 15N 组（P＜0.05）；在 121~150 日龄阶段，20N 组和 25N 组羔羊平均日增重显著低于 10N 组和 15N 组（P＜0.05）；就整个采样期

（91~150 日龄阶段）而言，羔羊平均日增重各组间差异不显著（*P*>0.05）。

表 3　早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期平均日增重的影响

Table 3　Effects of feeding different NDF level diets for early weaned lambs on average daily gain of lambs at fattening stage　g/d

日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	*P*-值 *P*-value		
	10N	15N	20N	25N		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
91~120	238.93[b]	236.03[b]	271.72[a]	286.87[a]	7.40	0.030	0.006	0.523
121~150	229.47[a]	226.42[a]	164.15[b]	165.46[b]	8.56	0.002	<0.001	0.888
91~150	234.20	226.59	217.94	226.17	5.56	0.793	0.515	0.487

2.1.3 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期平均干物质采食量的影响

由表 4 可知，随着饲粮 NDF 水平的提高，羔羊 91~120 日龄阶段平均干物质采食量线性增加（*P*=0.025）。在 91~120 日龄阶段，20N 组平均干物质采食量显著高于 10N 组（*P*<0.05），其余各组间无显著差异（*P*>0.05）。尽管在 121~150 日龄阶段，随着饲粮 NDF 水平的提高平均干物质采食量线性增加（*P*<0.001），但是各组间无显著差异（*P*>0.05）。就整个采样期而言，羔羊平均干物质采食量各组间差异不显著（*P*>0.05）。

表 4　早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期平均干物质采食量的影响

Table 4　Effects of feeding different NDF level diets for early weaned lambs on average dry matter intake of lambs at fattening stage　g/d

日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	*P*-值 *P*-value		
	10N	15N	20N	25N		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
91~120	573.60[b]	634.90[ab]	727.56[a]	672.12[ab]	21.62	0.047	0.025	0.102
121~150	1 061.04	1 092.50	1 075.31	1 121.69	30.41	0.610	<0.001	0.917
91~150	817.32	829.62	901.43	896.90	19.73	0.102	0.515	0.829

2.1.4 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期料重比的影响

由表 5 可知，在 91~120 日龄阶段，羔羊料重比各组间差异不显著（*P*>0.05）；在 121~150 日龄阶段，随着饲粮 NDF 水平的提高，料重比线性增加（*P*=0.025），且以 15N 组最低，25N 组最高，但组间差异不显著（*P*>0.05）。就整个采样期而言，羔羊料重比各组间差异不显著

（P>0.05）。

表 5　早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期料重比的影响

Table 5　Effects of feeding different NDF level diets for early weaned lambs on feed to gain ratio of lambs at fattening stage

日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	P-值 P-value		
	10N	15N	20N	25N		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
91~120	2.44	2.81	2.70	2.33	0.09	0.213	0.577	0.052
121~150	4.90	4.85	6.53	6.85	0.38	0.097	0.025	0.773
91~150	3.50	3.67	4.14	3.96	0.10	0.113	0.045	0.334

2.2 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期血清学指标的影响

由表 6 可知，随着饲粮 NDF 水平的提高，羔羊血清 TP、ALB 和 BHBA 含量均线性增加（P=0.046、P=0.006、P=0.003）。20N 组羔羊血清 TP 含量显著高于 10N 组（P<0.05），其余各组间差异不显著（P>0.05）。20N 组和 25N 组羔羊血清 ALB 含量显著高于 10N 组（P<0.05），其余各组间差异不显著（P>0.05）。25N 组羔羊血清 BHBA 含量显著高于 10N 组和 15N 组（P<0.05），其余各组间差异不显著（P>0.05）。早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对 150 日龄羔羊血清 GLU、GLB、A/G、UN、UA、Cre、INS、GH 和 IGF-Ⅰ含量均无显著影响（P>0.05）。

表 6　早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期血清学指标的影响

Table 6　Effects of feeding different NDF level diets for early weaned lambs on serological parameters of lambs at fattening stage

项目 Item	组别 Groups				SEM	P-值 P-value		
	10N	15N	20N	25N		处理 Treat	线性 Linear	二次 Quadratic
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.73	4.73	4.96	5.16	1.05	0.491	0.150	0.667
总蛋白 TP/(g/L)	56.93^{b}	59.49^{ab}	65.35^{a}	61.14^{ab}	1.12	0.046	0.046	0.103
白蛋白 ALB/(g/L)	26.86^{b}	28.72^{ab}	30.81^{a}	30.10^{a}	0.18	0.022	0.006	0.154
球蛋白 GLB/(g/L)	30.07	30.77	34.54	31.04	0.79	0.186	0.332	0.178
白球比 A/G	0.91	0.94	0.90	0.97	0.02	0.559	0.396	0.657

尿素氮 UN/(mmol/L)	6.42	6.79	6.75	6.97	10.62	0.766	0.344	0.835
尿酸 UA/(umol/L)	199.24	189.37	160.14	187.84	0.79	0.632	0.533	0.403
肌酐 Cre/(μ mol/L)	41.02	43.00	42.31	42.07	0.11	0.864	0.742	0.512
胰岛素 INS/(IU/mL）	13.39	20.28	15.25	17.75	5.33	0.608	0.641	0.571
β-羟丁酸 BHBA/（μmol/L）	21.44^{b}	33.18^{b}	48.92^{ab}	62.01^{a}	0.31	0.025	0.003	0.941
生长激素 GH/(ng/mL)	1.34	2.75	2.04	2.56	1.84	0.395	0.296	0.477
胰岛素样生长因子-Ⅰ IGF-Ⅰ /(ng/mL)	76.11	129.69	92.52	106.35	1.05	0.468	0.628	0.423

2.3 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期屠宰性能的影响

由表 7 可知，随着饲粮 NDF 水平的提高，羔羊宰前活重和胴体重线性增加（*P*=0.034、*P*=0.015）。宰前活重各组间差异不显著（*P*＞0.05），胴体重以 25N 组最高，10N 组最低，20N 组和 25N 组胴体重较 10N 组有增加的趋势（*P*=0.061）。此外，屠宰率各组间无显著差异（*P*＞0.05）。

表 7 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期屠宰性能的影响

Table 7 Effects of feeding different NDF level diets for early weaned lambs on slaughter performance of lambs at fattening stage

日龄/d Age	组别 Groups				SEM	*P*-值 *P*-value		
	10N	15N	20N	25N		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
宰前活重 LWBS/kg	31.18	34.36	34.68	35.33	0.67	0.124	0.034	0.327
胴体重 Carcass weight/kg	14.24^{B}	15.81^{AB}	16.33^{A}	16.43^{A}	0.33	0.061	0.015	0.233
屠宰率 Dressing percentage/%	45.66	46.01	47.08	46.55	0.32	0.428	0.201	0.497

2.4 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期组织器官发育的影响

由表 8 可知，随着饲粮 NDF 水平的提高，头的重量和占宰前活重的比例分别有线性增加和下降趋势（*P*=0.096、*P*=0.083），其中头的重量各组间差异不显著（*P*＞0.05），头占宰前活重的比例 20N 组显著低于 10N 组（*P*＜0.05）。15N 组羔羊蹄的重量较 10N 组有增加趋势（*P*=0.070），蹄占宰前活重的比例随着饲粮 NDF 水平的提高有降低趋势（*P*=0.090），但是各组间无显著差异（*P*＞0.05）。随着饲粮 NDF 水平的提高，心脏的重量线性增加（*P*=0.034），肺脏和肾脏占宰前活重的比例线性降低（*P*=0.038、*P*=0.026），但各组间均无显著差异（*P*

＞0.05）。

表 8　早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期组织器官发育的影响

Table 8　Effects of feeding different NDF level diets for early weaned lambs on tissue and organs development of lambs at fattening stage

项目 Items		组别 Groups				SEM	*P*-值 *P*-value		
		10N	15N	20N	25N		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
头 Head	重量 Weight/g	1656.67	1713.33	1678.33	1795.00	23.40	0.165	0.096	0.205
	占宰前活重的比例/%	5.34[a]	5.00[ab]	4.85[b]	5.09[ab]	0.06	0.033	0.083	0.015
蹄 Feet	重量 Weight /g	843.33[B]	931.67[A]	883.33[AB]	915.00[AB]	13.62	0.070	0.152	0.062
	占宰前活重的比例 Proportion of LWBS/%	2.72	2.72	2.55	2.60	0.04	0.219	0.090	0.753
皮毛 Skin & wool	重量 Weight /g	2868.33	3271.67	3340.00	3385.00	95.45	0.506	0.271	0.339
	占宰前活重的比例 Proportion of LWBS/%	9.17	9.51	9.64	9.56	0.16	0.769	0.398	0.539
心脏 Heart	重量 Weight/g	116.6	128.83	128.93	139.07	3.51	0.159	0.034	0.876
	占宰前活重的比例 Proportion of LWBS/%	0.37	0.37	0.37	0.40	0.01	0.679	0.355	0.483
肝脏 Liver	重量 Weight/g	612.43	643.40	662.02	664.63	17.90	0.743	0.305	0.708
	占宰前活重的比例 Proportion of LWBS/%	1.97	1.87	1.90	1.87	0.03	0.741	0.423	0.662
脾脏 Spleen	重量 Weight/g	46.00	52.12	53.40	52.62	1.75	0.437	0.191	0.335
	占宰前活重的比例 Proportion of LWBS/%	0.15	0.15	0.38	0.15	0.06	0.394	0.651	0.31
肺脏 Lungs	重量 Weight/g	368.47	360.05	340.87	352.33	6.87	0.563	0.294	0.486
	占宰前活重的比例 Proportion of LWBS/%	1.20	1.06	0.99	1.00	0.04	0.129	0.038	0.25
肾脏 Kidney	重量 Weight/g	106.28	111.82	105.87	106.1	2.45	0.815	0.780	0.611
	占宰前活重的比例 Proportion of LWBS/%	0.34	0.33	0.31	0.30	0.01	0.145	0.026	0.668

3 讨　论

3.1 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期生长性能的影响

本试验结果表明，早期断奶羔羊饲喂不同NDF水平饲粮影响120日龄羔羊体重及91～120日龄阶段羔羊的平均日增重和平均干物质采食量。20N组和25N组羔羊120日龄体重分别较

10N组提高了21.5%和23.17%。这可能因为是在21～90日龄阶段，10N组饲粮含少量的NDF（大量易发酵碳水化合物），而20N组和25N组饲粮NDF水平适中，有助于调控瘤胃发酵速率，提高瘤胃液pH，维持适宜的瘤胃内环境[13]，提高营养物质的消化率；加之，饲粮中的粗饲料有利于移除瘤胃壁死亡细胞，防止瘤胃角化不全和瘤胃乳头的凝集[20]，进而促进瘤胃上皮对营养物质的吸收功能。这种早期完善的瘤胃结构和功能为90日龄后高生长性能的发挥奠定了基础。此外，羔羊统一饲喂后初期，即91～120日龄阶段，20N组和25N组的平均干物质采食量仍显著高于10N组，这也是由于早期20%和25%NDF水平饲粮更有利于瘤胃的充分发育，最总导致了采食量的增加。陈玲等[21]研究了湖羊的生长发育规律并建立了最优生长发育模型，累积生长曲线表明 3 ～ 7 月龄湖羊的生长开始呈递减趋势， 7 月龄之后趋于平缓；此外，实测体重也发现湖羊7月龄后平均日增重出现明显降低。对比本试验与上述试验实测及最优模型结果发现，湖羊均在体重达约30 kg后增长速度出现明显下降。这就表明，20N组和25N组121～150日龄阶段生长速度较91～120日龄阶段出现明显的下降可能是湖羊自身生长发育规律所致。而10N组和15N组在121～150日龄阶段平均日增重与90～120日龄阶段相比变化较小，这一现象主要是21～90日龄阶段饲喂低NDF水平饲粮导致。因为大量易发酵碳水化合物引起发酵产物的快速积累，进而致使瘤胃液pH降低，出现乳头角化不全和瘤胃上皮黏膜结块现象[22]，最终使瘤胃上皮对营养物质的吸收受到影响[23]；90日龄后经适宜的NDF水平饲粮饲喂一段时间，瘤胃的结构和功能逐步完善。瘤胃结构和功能上的“补偿发育”促进了采食，最终表现为121～150日龄阶段有相对稳定的平均日增重。本试验中，尽管各组羔羊料重比在各个日龄阶段均差异不显著，但是在121～150阶段，料重比表现出随着饲喂饲粮NDF水平的提高而线性增加。这也可能是由于20N组和25N组羔羊的生长发育进入稳定区所致。另外，本试验中15N组、20N组和25N组羔羊150日龄时体重分别较10N组提高了11.36%、10.83%和12.29%。这也表明，从生长性能看，早期断奶羔羊饲喂NDF水平为15%、20%和25%的饲粮均可有效促进150日龄前的生长性能。

综上所述，早期断奶羔羊饲喂NDF水平不低于20%的饲粮促进了羔羊91～120日龄阶段的生长性能；120日龄后，饲喂低DNF水平饲粮后羔羊才以较快的速度生长，但是从整个试验期的生长性能来看，以饲喂NDF水平为15%、20%和25%的饲粮效果较佳。

3.2 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期血清学指标的影响

血液生化指标能够反映机体的新陈代谢机能和相关器官的健康状况[24]。血清TP由ALB和GLB两部分组成。TP与机体免疫力和代谢水平相关，其含量升高有利于提高免疫力和代谢水平，促进动物健康快速生长。ALB主要功能是维持血浆渗透压和作为营养物质载体，此

外其本身也是机体蛋白质的一个来源。本试验结果显示，20N组血清TP含量显著高于10N组，这主要是由血清ALB含量造成的。羔羊150日龄时，20N组和25N组血清ALB含量显著高于10N组，这表明早期断奶羔羊饲喂不同NDF水平饲粮影响了150日龄阶段的血清ALB含量，同时说明早期饲喂NDF水平为20%和25%的饲粮时更有利于羔羊后期的生长。另外，羔羊90日龄时，尽管血清ALB含量差异不显著，但是有随NDF水平提高而增加的趋势。关于，早期断奶羔羊饲喂不同NDF水平饲粮对90和150日龄血清ALB含量影响的原因有待蛋白质消化代谢的数据解释或进一步研究。

瘤胃上皮细胞中丁酸代谢途径主要是生成酮体[25-26]，因此血清BHBA含量在一定程度可以衡量瘤胃表皮丁酸转化为BHBA的代谢能力及瘤胃上皮的发育程度。早期断奶幼畜血清BHBA含量受饲喂策略[27]、饲粮结构[28]和断奶时间[29]的影响。Deelen等[30]研究表明早期断奶幼畜血清BHBA含量与采食量呈正相关。本试验在90日龄时也发现了高水平的NDF饲粮促进了血清BHBA含量和平均干物质采食量的提高。因此，血清BHBA含量的提高是由于高水平NDF饲粮促进干物质采食量还是由于促进瘤胃表皮丁酸的代谢及瘤胃表皮的发育还有待进一步验证。但是，在150日龄时，可以发现随着饲粮NDF水平的提高，血清BHBA含量呈线性增加，并且25N组显著高于10N组；同时，121～150日龄阶段各组间平均干物质采食量差异不显著。这就表明，这一阶段血清BHBA含量排除了采食量的影响，所以推测早期饲喂高NDF水平饲粮很有可能是由于促进了丁酸的代谢及瘤胃表皮的发育，并且这种效应具有持续性和长期效应。

3.3 早期断奶羔羊饲喂不同 NDF 水平饲粮对羔羊育肥期屠宰性能和组织器官发育的影响

本试验中，在90日龄时15N组、20N组和25N组羔羊胴体重分别比10N组提高14.40%、24.68%和28.45%，在150日龄时分别提高11.03%、14.68%和15.38%，胴体重差距的缩小与生长性能指标相对应，这是由于10N组饲喂正常NDF饲粮后生长速率加快，而20N组和25组在试验后期进入了生长发育的平台期，因此导致了胴体重差异的缩小。尽管胴体重差距在缩小，但是早期断奶羔羊饲喂低NDF水平饲粮还是降低了屠宰性能，影响羔羊的产肉。在90日龄时头占宰前活重的比例最高而蹄的重量最低，在150日龄时可以发现同样的现象，其原因有待进一步研究。早期断奶羔羊饲喂高NDF水平饲粮促进了心脏、肝脏和脾脏的发育，而在150日龄时各组间差异基本消失。这表明，当统一饲喂一段时间后，这些器官和相应功能均达到一致水平。

4 结　论

本试验条件下，早期断奶羔羊饲喂较高 NDF 水平（20%和 25%）的饲粮提高了羔羊育

肥期的生长性能。早期较快的生长对羔羊育肥期生长性能有促进作用，但是这种促生长作用持续性仅为 1 个月，在育肥后期反而生长强度降低，表明饲粮适宜 NDF 水平不能仅根据羔羊早期的性状确定，从长期的生长表现探究饲粮 NDF 水平更加科学。

致　谢：

感谢贾鹏、樊庆山和芦伟同学在屠宰试验过程中给予的帮助，同时也感谢南京农业大学李奉哲、冯旭和郑健同学在羔羊称重和采血等方面给予的帮助。

参考文献：

[1] LUCAS A.Programming by early nutrition in man[J].CIBA Foundation Symposium,1991,156:38–50.

[2] HOCHBERG Z,FEIL R,CONSTANCIA M,et al.Child health,developmental plasticity,and epigenetic programming[J].Endocrine Reviews,2010,32(2):159–224.

[3] EWIEDMEIER J,AJOSS-MOORE L,HLANE R,et al.Early postnatal nutrition and programming of the preterm neonate[J].Nutrition Reviews,2011,69(2):76–82.

[4] FAITH J J,GURUGE J L,CHARBONNEAU M,et al.The long-term stability of the human gut microbiota[J].Science,2013,341(6141):1237439.

[5] MOALLEM U,WERNER D,LEHRER H,et al.Long-term effects of ad libitum whole milk prior to weaning and prepubertal protein supplementation on skeletal growth rate and first-lactation milk production[J].Journal of Dairy Science,2010,93(6):2639–2650.

[6] SOBERON F,RAFFRENATO E,EVERETT R W,et al.Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves[J].Journal of Dairy Science,2012,95(2):783–793.

[7] 侯生珍,吕凯,王志有,等.蛋白水平及 Lys/Met 配比对早期断奶藏羔羊肌肉组织学形态的影响[J].山东农业大学学报,2013(4):543-549.

[8] CASTELLS L,BACH A,TERRÉ M.Short-and long-term effects of forage supplementation of calves during the preweaning period on performance,reproduction,and milk yield at first lactation[J].Journal of Dairy Science,2015,98(7):4748–4753.

[9] STEELE M A,MALMUTHUGE N,GUAN L L.Dietary factors influencing the development of the ruminant gastrointestinal tract[J].Chemosphere,2015,41(7):1007–1010.

[10] 柴建民,王海超,刁其玉,等.断奶时间对羔羊生长性能和器官发育及血清学指标的影响[J].

中国农业科学,2015,48(26):4979–4988.

[11] 郭江鹏,郝正里,李发弟,等.早期断奶对舍饲肉用羔羊消化器官发育的影响[J].畜牧兽医学报,2013,44(7):1078–1089.

[12] 王彩莲,郝正里,李发弟,等.0～56 日龄放牧羔羊消化道的解剖特点和瘤胃功能变化[J].畜牧兽医学报,2010,41(4):417–424.

[13] YANG B,HE B,WANG S S,et al.Early supplementation of starter pellets with alfalfa improves the performance of pre- and postweaning *Hu* lambs[J].Journal of Animal Science,2015,93(10):4984–4994.

[14] 赵新德,于满满,姜雨轩,等.不同日粮组成对羔羊生长性能的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2017(19):128-131.

[15] 吕佳颖.粗饲料来源对育肥羔羊生产性能和瘤胃微生物区系的影响[D].硕士学位论文.兰州：兰州大学，2017.

[16] 张立涛.25–50Kg 杜寒杂交 F1 代肉用绵羊日粮 NDF 适宜水平的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[17] 解彪,张乃峰,崔凯,等.不同中性洗涤纤维水平饲粮对早期断奶羔羊生长性能、血清指标、屠宰性能和组织器官发育的影响[J].动物营养学报,2018,30(3):963-972.

[18] 祁敏丽,马铁伟,刁其玉,等.饲粮营养限制对断奶湖羊羔羊生长、屠宰性能以及器官发育的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(8):1601–1609.

[19] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[20] SUÁREZ B J,VAN REENEN C G,STOCKHOFE N,et al.Effect of roughage source and roughage to concentrate ratio on animal performance and rumen development in veal calves[J].Journal of Dairy Science,2007,90(5):2390–2403.

[21] 陈玲,吕晓阳,王庆增,等.湖羊生长发育曲线模型预测及趋势分析[J].中国畜牧兽医,2014,41(12):239–243.

[22] SUÁREZ B J,VAN REENEN C G,BELDMAN G,et al.Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: Ⅰ.Animal performance and rumen fermentation characteristics[J].Journal of Dairy Science,2006,89(11):4365–4375.

[23] HINDERS R G,OWEN F G.Relation of ruminal parakeratosis development to volatile fatty acid absorption[J].Journal of Dairy Science,1965,48(8):1069–1073.

[24] PICCIONE G,CASELLA S,LUTRI L,et al.Reference values for some

haematological,haematochemical,and electrophoretic parameters in the Girgentana goat[J].Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences,2014,34(2):197–204.

[25] KHAN M A,BACH A,WEARY D M,et al.*Invited review*:transitioning from milk to solid feed in dairy heifers[J].Journal of Dairy Science,2016,99(2):885–902.

[26] LANE M A,BALDWIN R L V,JESSE B W.Sheep rumen metabolic development in response to age and dietary treatments[J].Journal of Animal Science,2000,78(7):1990–1996.

[27] OMIDI-MIRZAEI H,KHORVASH M,GHORBANI G R,et al.Effects of the step-up/step-down and step-down milk feeding procedures on the performance,structural growth,and blood metabolites of Holstein dairy calves[J].Journal of Dairy Science,2015,98(11):7975–7981.

[28] NEMATI M,AMANLOU H,KHORVASH M,et al.Effect of different alfalfa hay levels on growth performance,rumen fermentation,and structural growth of Holstein dairy calves[J].Journal of Animal Science,2016,94(3):1141–1148.

[29] ECKERT E,BROWN H E,LESLIE K E,et al.Weaning age affects growth,feed intake,gastrointestinal development,and behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage[J].Journal of Dairy Science,2015,98(9):6315–6326.

[30] DEELEN S M,LESLIE K E,STEELE M A,et al.Validation of a calf-side β-hydroxybutyrate test and its utility for estimation of starter intake in dairy calves around weaning[J].Journal of Dairy Science,2016,99(9):7624–7633.

Effects of Feeding Different Neutral Detergent Fiber Level Diets for Early Weaned Lambs on Growth Performance, Serological Parameters and Slaughter Performance of Lambs at Fattening Stage

XIE Biao[1,2] ZHANG Naifeng[2] CUI Kai[2] WANG Shiqin[2] LYU Xiaokang[2] ZHANG Chunxiang[1*] DIAO Qiyu[2*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Shanxi Agricultural University, Taigu* 030801, *China;* 2. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*)

---

*Corresponding authors: ZHANG Chunxiang, professor, E-mail: zhchx66@126.com; DIAO Qiyu, professor, E-mail: diaoqiyu@caas.cn (责任编辑 菅景颖)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of feeding different neutral detergent fiber (NDF) level diets for early weaned lambs on growth performance, serological parameters and slaughter performance of lambs at fattening stage. One hundred healthy *Hu* lambs with body weight of (6.10±0.10) kg and (18±2) days of age were randomly divided into four groups with five replicates in each group and five lambs per replicate. Four diets were formulated, which contained 10% (10N group, as control group), 15% (15N group), 20% (20N group) and 25% (25N group) NDF, respectively. At 21 to 90 days of age, lamps in four groups were fed different NDF level diets; at 91 to 150 days of age, all lambs were fed the same total mixed ration. Six lambs in each group were selected to determine serological parameters, slaughter performance and organ development indices at 150 days of age. The results showed as follows: 1) at 90 days of age, body weight in 15N, 20N and 25N groups was significantly higher than that of 10N group (P<0.05); at 120 days of age, body weight in 20N and 25N groups was significantly higher than that of 10N group (P<0.05); at 150 days of age, body weight in 20N and 25N groups had an increasing trend compared with 10N group (P=0.079). Average daily gain in 20N and 25N groups was significantly higher than that in 10N and 15N groups during 90 to 120 days of age (P<0.05), while it was significantly lower in 20N and 25 groups than that in 10N and 15N groups during 121 to 150 days of age (P<0.05). Average dry matter intake in 20N group was significantly higher than that in 10N group during 90 to 120 days of age (P<0.05). No significant differences were found in average daily gain, average dry matter intake and feed to gain ratio during 90 to 150 days of age among all groups (P>0.05). 2) Serum total protein (TP) content in 20N group was significantly higher than that in 10N group (P<0.05), serum albumin (ALB) content in 20N and 25N groups was significantly higher than that in 10N group (P<0.05), and serum β-hydroxybutyrate (BHBA) content in 25N group was significantly higher than that in 10N and 15N groups (P<0.05). 3) Carcass weight in 20N and 25N groups had an increasing trend than that in 10N group (P=0.061). 4) Proportion of head to live weight before slaughter was significantly higher for lambs in 10N group than that in 20N group (P<0.05), and no significant differences were found in other parameters (P＞0.05). In conclusion, the diets of early weaned lambs containing more than 15% NDF can promote the growth performance of lambs at fattening stage.

Key words: neutral detergent fiber; early weaned lambs; growth performance; slaughter performance; metabolic imprinting